

В.Ф. ШАПОВАЛОВ, к.т.н., директор КМП "Сателлит"

В.И. ПЕЧЕНЬ, к.т.н., ведущий науч. сотр. ОАО "НИИПТМаш"

А.Н. КОРОТУН, к.т.н., зам. директор ООО "Крамтехцентр"

А.А. КЛОЧКО, к.т.н., доцент каф. МСИ ДГМА

Г.И. МИХАЙЛОВ, зам. гл. констр. ОАО "ВНИКТИ", Россия

О ПАТРИАРХЕ ЗУБООБРАБОТКИ А.К. СИДОРЕНКО (к 100-летию со дня рождения)

Стаття присвячена творчій діяльності відомого вченого й практика в області обробки крупномодульних зубчастих коліс, заслуженого винахідника УРСР, канд. техн. наук О.К. Сідоренко, 100-річчя якого відзначалося 10 грудня 2008 р.

The article touches upon the creative activities of k.t.s. A.K. Sidorenko, well-known scientist and practician in the area of large-modul gears, merited inventor of the USSR, whose 100-th anniversary was celebrated 10 December, 2008.



Заслуженный изобретатель
УССР, канд. техн. наук
А.К.Сидоренко

Отечественное машиностроение знает немало специалистов – научных работников и практиков, чьи идеи и упорный ПОИСК новых технических решений на том или ином этапе развития производства способствовали дальнейшему прогрессу в области изготовления крупномодульных зубчатых передач. В их ряду достойное место занимает заслуженный изобретатель Украинской ССР Александр Константинович Сидоренко и его научно-практические разработки.

Феномен А.К. Сидоренко заключается в том, что, даже не имея высшего образования, он самообразованием познал сложные геометрические и кинематические зависимости в теории зубчатых зацеплений, получил более 50 авторских свидетельств на изобретения, стал автором восьми монографий, неоднократно удостоивался различных медалей ВДНХ СССР, ВВЦ и других выставок.

Неуемная жажда познания, пылкий и изобретательский ум, колоссальная творческая целеустремленность, сопровождали А.К. Сидоренко на протяжении всей его долгой жизни (1908-2007).

Особое значение имеет то, что А.К. Сидоренко вел научные и практические разработки в области инструментов, предназначенных для зубонарезания крупномодульных (до $m=65\text{мм}$), крупногабаритных (диаметром до 12,5м)

зубчатых колес, отличающихся длительным до 600 ч.) циклом изготовления.

В процессе зубонарезания колес крупного модуля режущим инструментом срезаются сравнительно большие по периметру и сечению стружки металла, а весь процесс сопровождается высокими температурами в зоне резания. Это требует от инструмента повышенной жесткости и стойкости, применения рациональной схемы резания и геометрии режущей части.

В 50-е годы, работая ведущим конструктором по зуборезному инструменту на Ново-Краматорском машиностроительном заводе (НКМЗ), А.К. Сидоренко предложил рассмотреть процесс зубонарезания цилиндрических зубчатых колес червячной фрезой как взаимодействие двух цилиндров, заглубленных друг в друга на величину, равную высоте исходного контура зубчатой рейки [1].

Пятно контакта этих двух вращающихся цилиндров при сообщении инструменту осевой подачи было названо автором "контактным полем резания".

Анализ конфигураций и размеров контактных полей резания для различных случаев зубонарезания (встречное или попутное зубофрезерование, различные габариты, угол наклона и направление зубьев зубчатых колес и др.) позволили А.К. Сидоренко сделать определенные, важные выводы по совершенствованию конструкций червячных фрез, направленные на существенную интенсификацию в несколько раз процесса резания.

Так, например, для повышения производительности чернового зубонарезания венцов угле- и рудоразмольных мельниц ($m=20-28\text{ мм}$; $D_a=5000-12500\text{ мм}$; $\beta_a=6-8^\circ$; $b=700-1200\text{ мм}$) режущую часть червячной фрезы было предложено выполнять с заборным конусом, причем при левом наклоне зубьев венца фреза должна быть правой и иметь заборный конус справа, а при правом наклоне наоборот – фреза должна быть левой, а заборный конус находится слева. Величина и длина заборного конуса зависят от габаритов и других конструктивных параметров обрабатываемых зубчатых колес [2].

Использование червячных фрез с заборными конусами, выполненными по прямой или кривой линии, позволило выровнять нагрузку, приходящуюся на каждый зуб инструмента, что, в свою очередь, позволило в два-три раза повысить подачу инструмента на один оборот заготовки.

Так, при черновом зубонарезании на ЗАО "ИКМЗ" венцов угле- и рудоразмольных мельниц ($m=20\text{ мм}$; $Z=250-316$; сталь 35 ХМЛ) используются подачи порядка $S=5-6\text{ мм/об}$, что в три раза превышает нормативную подачу по ранее сложившейся технологии зубонарезания. Для повышения надежности и стойкости инструмента, А.К. Сидоренко предложил изготавливать крупномодульные ($m=16-42\text{ мм}$) червячные фрезы сборно-сварными, а именно: корпус фрезы с увеличенным до $\phi 100\text{ мм}$ диаметром посадочного отверстия изготавливать из конструкционной стали, а вставные режущие зубья из быстрорежущей стали Р9, Р18 приваривать к корпусу электросваркой. Такие фрезы (рисунок 1), названные впоследствии А.К. Сидоренко фрезами "Прогресс", еще с 50-х годов и по настоящее время широко используются на ЗАО "НКМЗ" и других предприятиях, изготавливающих крупномодульные зубчатые колеса.

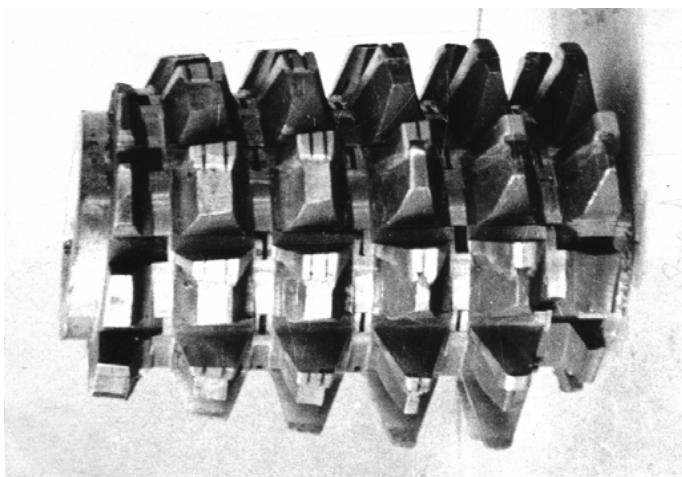


Рисунок 1 – Сборно-сварная червячная фреза "Прогресс" $m=20$ мм с наборным конусом и стружкоразделительными канавками

На основе теоретических работ [1, 2] и результатов промышленного внедрения А.К. Сидоренко в 1966 г. была присвоена ученая степень кандидата технических наук.

Особенно ярко изобретательский и научный талант А.К. Сидоренко проявился в годы его работы в должности заведующего лабораторией технологии зубообработки Краматорского института (НИИПТМАШ).

Здесь впервые, учитывая, что крупномодульный зуборезный инструмент не срезает, а фактически перерабатывает в стружку значительные объемы металла, он предложил инструмент и специальную оснастку для обработки методом "трепанации" впадин зубьев крупномодульных колес [3].

При этом способе зубонарезания большая часть металла впадин зубьев вырезается и выпадает в виде треугольных призм. Для осуществления способа "трепанации" были разработаны дисковые прорезные фрезы, названные "чистовые по донышку", оформляющие дно впадин зубьев сразу в размер, а на боковых поверхностях оставляющие небольшой припуск на чистовую обработку. Периметр резания таких фрез при модуле обрабатываемых зубьев $m=30-36$ мм в пять-шесть раз меньше, чем у обычной дисковой модульной фрезы, а зубьев в два-три раза больше, что позволяет при оснащении их твердым сплавом повысить производительность чернового зубонарезания в три-четыре раза.

Для крупногабаритных зубчатых венцов с числом зубьев более $z=144$ впервые в зуборезной практике заменили эвольвентный профиль зубьев на прямолинейный, т.к. отклонения при этом не превышают допуск на изготовление. Это, в свою очередь (рисунок 2), позволило применить при чистовом зубонарезании (практически трапецеидальных по профилю зубьев) торцевые высокоскоростные фрезы, оснащенные твердым сплавом.

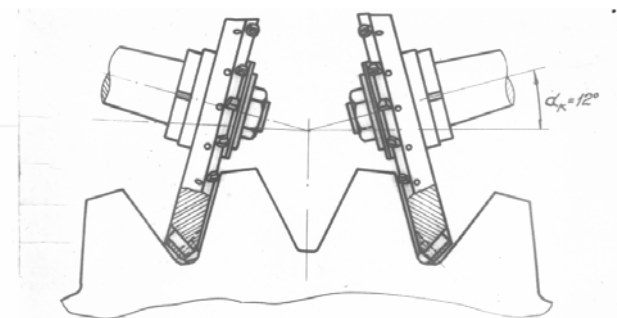


Рисунок 2 – Схема чистовой обработки прямозубых колес торцевыми твердосплавными фрезами на спецсуппорте к станку мод. КУ-279

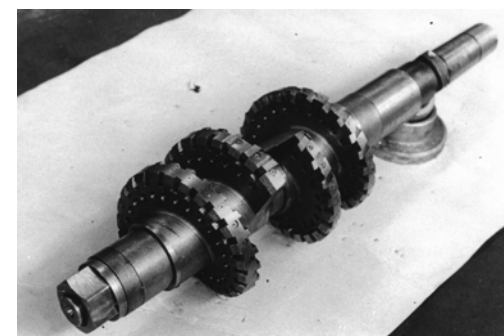


Рисунок 3 – Фреза червячная "Победа" со вставными режущими элементами $m=36$

Появление нового зуборезного инструмента, работающего при скоростях резания 100-150 м/мин, потребовало (для получения более полного эффекта) модернизации существующих тяжелых зубофрезерных станков. Работа по модернизации суппортов тяжелых зубообрабатывающих станков проводилась совместно с ведущими специалистами Коломенского завода тяжелого станкостроения (КЗТС) во главе с главным конструктором С.П. Налетовым. Была разработана гамма специальных двухшпиндельных высокоскоростных суппортов для осуществления метода "трепанации" впадин зубьев с использованием специальных дисковых и торцевых фрез. Таким суппортом был оснащен тяжелый зубофрезерный станок мод. КУ-279 с диаметром планшайбы 8000 мм, поставленный на НКМЗ.

Для чистового зубонарезания колес методом обкатки А.К. Сидоренко предложил оригинальную конструкцию червячной фрезы, названную "Победа" (рисунок 3), со вставными режущими элементами, размеры которых не зависят от модуля зубьев нарезаемых колес и в диапазоне $m=12-65$ мм имеют постоянную длину 20 мм [4]. Уменьшение размеров зубьев инструмента позволило увеличить их количество в два-три раза по сравнению с ранее известными конструкциями крупномодульных фрез, а это, в свою очередь, позволило повысить как производительность зубонарезания, так и качество нарезаемых зубьев.

Сравнительно малые размеры зубьев позволили применить на таких фрезах режущие элементы из твердых сплавов (рисунок 4). На НКМЗ фрезы "Победа" применялись для предварительной обработки зубьев под зубошлифование лезвийной обработки цементованных и закаленных колес (рисунок 5) $m=14-36$ мм; $D_a=400-2500$ мм; $\beta_a=28^\circ$; $b=700$ мм; HRC50...55 [5].

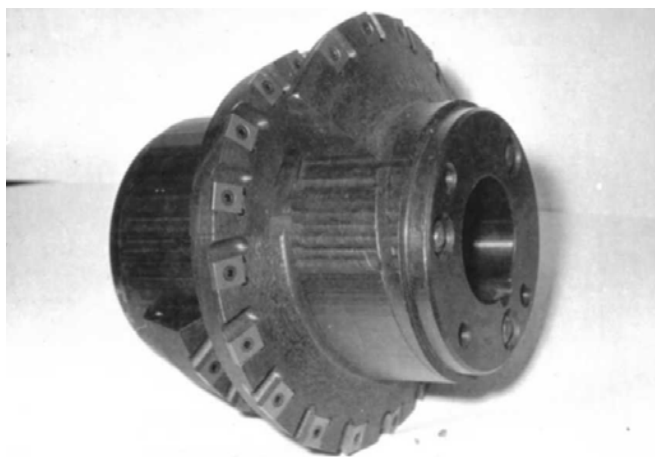


Рисунок 4 – Червячная твердосплавная фреза $m=20$ мм с неперетачиваемыми поворотными пластинками (BK10-XOM, 20x8x15 мм)

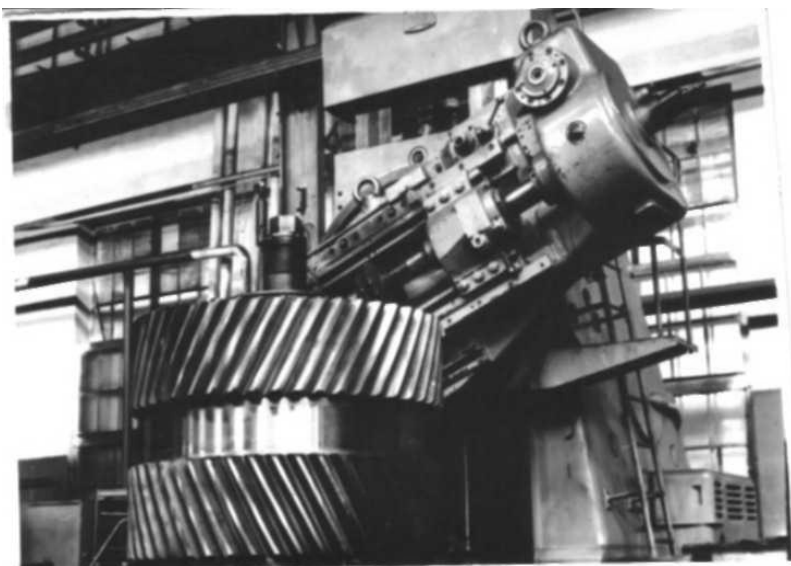


Рисунок 5 – Предварительная зубообработка закаленного шевронного колеса под зубошлифование $m=28$ мм, HRC 50...55

Кроме работы по совершенствованию зуборезных инструментов, станков и технологии зубообработки, А.К. Сидоренко постоянно следил за появлением новых видов зубчатых передач, анализировал целесообразность их применения, технологичность в изготовлении, возможности их совершенствования.

Так, в конце 1970-начале 1980-х годов его внимание привлекли цилиндрические зубчатые передачи с арочными зубьями. Из имеющегося большого количества разновидностей этих передач А.К. Сидоренко, опираясь на личный производственный опыт и проведенные аналитические исследования, разрабатывает арочную передачу с круговыми зубьями, нарезанными резцовыми головками с нулевым углом профиля резцов. Автор называет такую передачу "70-НКМЗ", т.к. первые опытные образцы этой передачи были изготовлены на ЗАО "НКМЗ" к 70-летию А.К. Сидоренко [6]. В этих работах также активное участие принимали Ю.И. Каплий, В.И. Эскин, А.Г. Цевковский и др. Зубчатая передача "70-НКМЗ" отличается от других видов арочных передач тем, что кривизна дуг зубьев по верхним и нижним активным точкам у них одинакова, и это не уменьшает линии контакта зубьев при изменении межосевого расстояния. Кроме того, для изготовления таких передач применяются резцовые головки с унифицированными режущими элементами – резцами, затачиваемыми комплектно в отдельном приспособлении. Подходя комплексно к решению проблемы, А.К. Сидоренко дает методику геометрического расчета арочной передачи, приводит оценку ее несущей способности, предлагает конструкцию зуборезного оборудования и инструмента для ее изготовления. Новый прилив творческой энергии А.К. Сидоренко получил сотрудничая с творческим коллективом хозрасчетного центра "Новатор" при Мособлсовете ВОИР. Он разрабатывал новые виды зубчатых передач, такие как арочная передача с эллиптическими зубьями, арочная с циклоидными зубьями, двоякокруговая зубчатая передача, зубчато-роликовая передача [7]. Под его руководством творческим коллективом проведена конструкторская проработка универсального зуборезного станка (рисунок 6), спецоснастки и инструмента для изготовления арочных зубчатых передач, разработаны методики геометрических и прочностных расчетов.

Несущая способность арочных передач по теоретическим исследованиям А.К. Сидоренко значительно выше, чем у прямозубых, а также превосходит косозубые и шевронные зубчатые передачи. И пусть не во всех случаях такая замена возможна и оправдана, но, несомненно, что арочные цилиндрические передачи должны занять определенную полезную нишу в общем количестве используемых в машиностроении зубчатых передач, а также послужили толчком для развития исследований в этой области и нашли последователей в организациях Москвы, Краматорска, Донецка, Кургана, Одессы, Хабаровска и других городов.

По разработкам А.К. Сидоренко его учениками и последователями защищены две диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Его энергия нашла выход в создании экспериментальных образцов. Необходимо

особо отметить, что подавляющее большинство изобретений и разработок А.К. Сидоренко носят прикладной характер. Они опробованы и внедрены в производстве на многих предприятиях тяжелого машиностроения: на Ижорском заводе (г. Колпино), Сибтяжмаше (г. Красноярск), СЗТМ (г. Сызрань), ЭЗТМ (г. Электросталь), ПО КЗТС (г. Коломна), НКМЗ (г. Краматорск) и других.

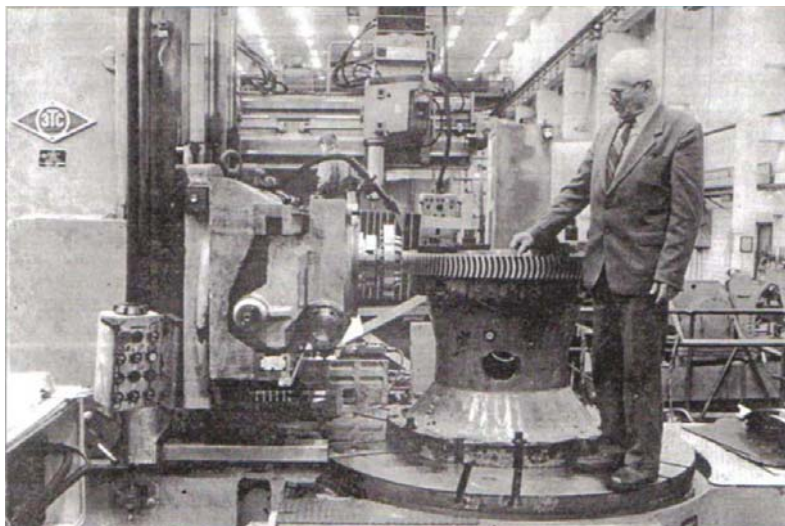


Рисунок 6 – А.К.Сидоренко у станка мод. 5A342ПФ2. 1989г., Коломенский ЗТС

Патриарх зубообработки А.К. Сидоренко прожил долгую трудовую и творческую жизнь. Он является автором оригинальных разработок, внедренных в промышленность, создал научный задел в области новых видов зубчатых передач, зуборезного оборудования и инструмента. Долг учеников и последователей продолжить работы патриарха, расширить их и внедрить в производство на общее благо технического прогресса. Это и будет наилучшая память о выдающемся специалисте и человеке – Александре Константиновиче Сидоренко.

Список литературы: 1. Сидоренко А.К. Прогрессивное зубофрезерование. – М.: Машиностроение, 1951. – 80с. 2. Сидоренко А.К., Адам Я.И., Овумян Г.Г. Производство крупных зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1961. – 155с. 3. Сидоренко А.К. Особенности изготовления крупномодульных колес. – М.: Машиностроение, 1976. – 112с. 4. Сидоренко А.К. Новый способ зубофрезерования крупномодульных колес. – НИИИНФОРМТЯЖМАШ. 1967.Х" 12-61-1. – 21с. 5. Шаповалов В.Ф., Гузенко В.С., Мироненко Е.В., Колесник В.Ф., Иванов С.А. Совершенствование технологии зубообработки крупномодульных закаленных колес. // Вестник ХПИ. – 2003. – №8. – С.142-147. 6. Сидоренко А.К. Зубчатая передача "70-НКМЗ". – М.: Машиностроение, 1984. – 80с. 7. Сидоренко А.К. Новые виды зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1990. – 129с. 8. Сидоренко А.К. Арочная цилиндрическая зубчатая передача "85-ПО КЗТС" (Геометрические расчеты и технологические приемы). – М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1993. – 170с. 9. Сидоренко А.К. Арочная передача по высоте зубьев "90-ВНИТИ". – Коломна, 1998. – 50с.

Поступила в редколлегию 08.06.09

УДК 621.833.6

В.Т.АБРАМОВ, к.т.н., доцент НАКУ "ХАИ"

А.Н.ГЕТЕЯ, начальник сектора ГП "ХАКБ"

В.А.МАТУСЕВИЧ, главный конструктор-директор ГП "ХАКБ"

А.В.ШЕХОВ, с.н.с. НАКУ "ХАИ"

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ МНОГООРУБЕНЧАТОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА ПО КРИТЕРИЮ МАССЫ

Розглянуто підхід до розробки програмної методики оптимізації загальної маси багатоступінчатого планетарного механізму з урахуванням умов міцності при згині та контакту. Оптимальний розподіл передаточного відношення механізму по ступінням враховує можливі значення чисел зубців одної ступені.

The computing method of finding of the optimum result mass of planetary transmission from the conditions of bending and contact strength is considered. The optimum distribution transfer attitudes from the area of existence of number of teeth is given.

Постановка проблемы. Проектирование многоступенчатых планетарных механизмов относится к многовариантной задаче, решение которой выполняется, как правило, путем последовательного приближения к требуемым техническим условиям. Данное обстоятельство, в основном, связано с различным распределением общего передаточного отношения по ступеням такого механизма. Поэтому с целью ограничения возможных вариантов конструкции проектируемого механизма принимают ряд дополнительных требований по ее оптимизации. Например, для приводов, используемых в системах управления летательных аппаратов, работающих в старт-стопном режиме, такими требованиями являются быстродействие и масса привода. Дополнительные требования могут быть противоречивыми друг другу. Качество выбора оптимальной конструкции проектируемого механизма зависит от применяемой методики ее оптимизации.

Анализ литературы. Минимизации массы рядно-планетарных механизмов посвящено достаточно много работ, в частности [1-3]. Однако в этих работах не приводятся описания методик минимизации. В частности, в работе [2] приведены примеры определения распределения общего передаточного отношения по ступеням составных планетарных механизмов, обеспечивающие минимум их массы. Там же приводятся блок-схемы некоторых алгоритмов, которые применялись автором при решении этих примеров.

Цель статьи. Разработка программной методики минимизации суммарной массы многоступенчатого планетарного механизма $\overline{AI} \times \dots \times \overline{AI}$ с учетом рекомендаций по распределению общего передаточного отношения по его ступеням, обеспечивающего выполнение условий изгибной и контактной